

工程前沿



美国国家工程院

“工程前沿学术研讨会”

2003 年及 2004 年会议文集

中 国 工 程 院

国家自然科学基金委员会

编译



高等教育出版社

工程前沿

美国国家工程院
“工程前沿学术研讨会”
2003 年及 2004 年会议文集

中国工程院
国家自然科学基金委员会 编译

高等教育出版社

©本书由美国国家工程院经中国工程院授权高等教育出版社出版发行。

图书在版编目(CIP)数据

工程前沿: 美国国家工程院“工程前沿学术研讨会”
2003年及2004年会议文集/中国工程院, 国家自然科学
基金委员会编译. —北京: 高等教育出版社, 2006.5
ISBN 7-04-019051-6

I. 工... II. ①中...②国... III. 科学技术—学术
会议—文集 IV. N53

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第050003号

策划编辑 刘 英 责任编辑 刘 英 封面设计 刘晓翔
版式设计 刘晓翔 责任绘图 朱 静 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010—58581000

购书热线 010—58581118
免费咨询 800—810—0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京佳信达艺术印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 18.25
字 数 315 000

版 次 2006年5月第1版
印 次 2006年5月第1次印刷
定 价 35.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 19051-00

郑重声明 高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》, 其行为人将承担相应的民事责任和行政责任, 构成犯罪的, 将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序, 保护读者的合法权益, 避免读者误用盗版书造成不良后果, 我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为, 希望及时举报, 本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话: (010) 58581897/58581896/58581879

传 真: (010) 82086060

E-mail: dd@hep.com.cn

通信地址: 北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮编: 100011

购书请拨打电话: (010) 64014089 64054601 64054588

译者序

作为生产力的一个要素，工程技术把科学原理转变为改造世界的动力，是科学发现和产业发展联系的桥梁，是产业革命、经济发展与社会进步的强大杠杆。这种观念日益被人们深入地认识，正发挥越来越大的作用。

自1994年成立以来，中国工程院十分重视加强与各国工程院和其他相关的工程组织之间的交流与合作，以达到推动工程技术发展、为21世纪在我国全面实现现代化、进入发达国家之列的宏伟目标做贡献。无疑地，美国是当今世界上科学技术最先进的发达国家，在许多学科领域都居世界领先的地位，有许多成就与经验值得我们学习与借鉴。美国国家工程院（NAE）成立至今已有40多年历史，拥有2000多位院士和200多位外籍院士，其中不乏世界著名的科技巨擘。同样地，它也是举办各类学术活动最多的工程院组织，每年由它主办的活动多达百余项。“工程前沿研讨会”就是其中的一项重点活动，从1995年起，每年秋季举办，没有间断地持续至今。此项活动在美国国内取得了很好的效果，在国际上也产生了一定的影响，近年来，已经发展到分别与德国和日本每年合作举行一次形式接近的双边工程前沿研讨会。

从创办开始，“工程前沿研讨会”就具有如下特色：

（1）基于科技的突破口常常出现在不同学科的交接面上的特点，研讨会致力于推动已做出成就的青年科学家和工程师接触其他领域的最新成就，从中得到启发，达到跨领域的学科交融与合作；（2）与会者都是来自科研生产第一线的年龄在30~45岁的学科领头人（包括教授、工程师与研究员）；（3）每届会议由项目组织委员会选定4个学科领域，每个领域又选出3~4个专题，每个专题请一位学者作为发言人，整个会议包括15~16个报告，会议总共限定100人参加，其余的代表参加讨论；（4）一般每届会议特邀一位有突出成就的资深工程专家（一般都是NAE院士）到会，在会议的宴会上，就有关工程文化、哲学、伦理及经济管理等热门话题发表讲演，传

授自己的成功经验，增进两代人之间的沟通，这对于青年一代科技人员及工程师的未来事业发展具有重要意义。

历届研讨会的报告与讲演文稿，经过收集整理，以《工程前沿》作为总书名由美国国家学术出版社（NAP）在第二年春季出版。

为了促进中国工程院与美国工程院之间的交流与合作，把美国国内最新的工程技术发展动态介绍给广大的中国工程科技工作者，也为了为我国工程技术学科建设与研究重点学科发展方向增加一份具有很高参考价值的资料，中国工程院在国家自然科学基金委员会的支持下，决定共同把《工程前沿》这套系列丛书翻译整理出版。本次出版的是近期的2003/2004年合订本。参加本书的翻译与审校工作的人员主要是国家自然科学基金委员会和中国工程院以及清华大学的专业相近的科技专家，在每一篇译文后列出了该文译、校者的姓名。在此，他们对本书做出的贡献表示感谢。还要感谢高等教育出版社的大力支持，对参加本书工作的编辑人员所付出的辛劳表示由衷的感谢。最后，特别要感谢美国国家工程院和令人尊敬的Wm. A. Wulf院长，正是由于他把本书中文版的版权赠给了中国工程院，才使得这套很有价值的丛书能够顺利地在中国出版。

由于本书科技内容新颖，涉及的许多概念和术语在国内是第一次出现和运用，翻译中也有时感到把握不准，因此，可以肯定本书在学术或语言上还存在不同的译法甚至误译。译者诚恳地欢迎读者指正，来信可寄北京市复兴路3号中国工程院出版处（邮编：100038）转交。

编译委员会

2006年3月

美国《工程前沿》

编委会

主 任：金国藩

副主任：柳百成 朱道本

委 员：沈廉 董尔丹 董庆九 丁养兵 刘静 朱蔚彤

目 录

工程前沿(2003 年)

- 003 美国国家工程院第九届工程前沿研讨会(2003 年)组织委员会名单

- 004 前言

环境工程

- 009 微生物的矿物呼吸

Dianne K. Newman

- 017 水资源工程、经济学以及公共政策

Gregory W. Characklis

- 025 生命周期发展:把生命周期框架扩展到解决可持续发展的课题

Gregory A. Norris

纳米技术的基本限制:离开底部究竟有多远?

- 033 硅半导体 CMOS 技术的现状、挑战以及前沿

Jack Hergenrother

- 047 分子电子学

James R. Heath

- 055 磁性材料的存储极限

Thomas J. Silva

- 069 纳米系统热力学

Christopher Jarzynski

反恐技术和基础设施保护

生物反恐技术

- 077 利用生物技术探测和防御化学武器

Alan J. Russell, et al.

- 084 用工程学方法应对生物恐怖袭击

Mohamed Athher Mughal

基础设施保护

- 090 因特网安全

William R. Cheswick

生物分子计算

- 101 自组装式 DNA 计算

Erik Winfree

- 113 生物学设计的自然计算法则

Willem P. C. Stemmer

- 115 编程活细胞的挑战与机遇

Ron Weiss

正餐讲演

- 127 在工学院里你没有学到的最重要的教训

William F. Ballhaus, Jr.

附录

- 137 正题外议题座谈会纪要

- 145 2003 年美国工程前沿作者简介

工程前沿(2004 年)

- 153 美国国家工程院第十届工程前沿研讨会(2004 年)组织委员会名单

- 154 前言

极端条件下的工程

- 159 导言

Mary Kae Lockwood, et al.

- 161 “冷”机器人:在极地气候下用做仪表网络的可攀登移动机器人
Laura R. Ray, et al.
- 173 在极端工程项目中建模与仿真的作用
Jon Berkoe
- 178 登陆火星的挑战
Tommaso P. Rivellini
- 186 为了人类的探索任务进入月球的两极
B. Kent Joosten

设计者的材料

- 191 引言
Kristi S. Anseth, et al.
- 193 薄膜活性材料
Greg P. Carman
- 197 工程材料的未来:按性能需求定制的多功能性
Leslie A. Momoda
- 203 脉管组织工程中的仿生学战略
Jennifer L. West

多尺度建模

- 213 引言
Grant S. Heffelfinger, et al.
- 215 复杂系统的无方程建模
Ioannis G. Kevrekidis
- 222 整个材料世界的建模:我们需要所有的原子吗?
Rob Phillips
- 231 生物模型中的尺度平衡
Adam Paul Arkin
- 233 气候系统的小尺度处理和大尺度仿真
Bjorn Stevens

工程技术与娱乐

241 导言

Chris Kyriakakis

243 在计算机图像中捕捉与模拟逼真的场景照明

Paul Debevec

258 空间声音的再现:针对个性化的立体声音

William G. Gardner

267 设计为社会服务的智能机器人

Cynthia Breazeal

附录

277 2004 年美国工程前沿作者简介

工程前沿(2003 年)

美国国家工程院
第九届工程前沿
研讨会(2003 年)
组织委员会名单

主席:

Pablo G. Debenedetti

普林斯顿大学化学工程系 1950 级教授和系主任

成员:

Jane Bare

美国环境保护署研究与开发办公室化学工程师

Matt Blaze

AT&T 实验室研究科学家

Gang Chen

马萨诸塞理工学院(MIT)机械工程系副教授

Joseph B. Hughes

佐治亚理工学院(GIT)土木与环境工程学院教授和院长

Lila Kari

西安大略大学计算机科学系生物计算副教授和加拿大研究室主任

Stephen J. Lee

美国陆军研究办公室化学家

Mitsunori Ogiwara

罗彻斯特大学计算机科学系教授

Robert J. Schoelkopf

耶鲁大学应用物理助理教授

工作人员:

Janet R. Hunziker

项目官员

Jennifer M. Hardesty

高级项目助理

Mary W. L. Kuttruff

行政助理

前言

■本卷是《第九届美国国家工程院 (NAE) 工程前沿研讨会》上发表的论文的概要。每年的研讨会均邀请约 100 名杰出的青年工程领导者出席会议并研讨不同工程领域的处于最前沿的研究与技术工作。2003 年的研讨会于 9 月 18~20 日在加州爱尔文市的贝克曼学术中心举办。本卷收录的论文是由报告人所提供文章的详细摘要。本卷及此前已出版的各卷,都描述了这个独具特色的会议所蕴含的哲学思想,并展示今天工程技术中的某些令人激动的发展。

工程前沿计划的目标

工程实践在不断的变化与发展,工程师必须能够应对技术的高速发展和全球化的环境,而且要在这种环境中成长。工程的各个学科变得更多地相互交叉,而工程前沿常常是处在几个工程专业的交叉点上,或者是传统的科学与工程交叉面上。因此,无论研究人员或实际工作者都必须了解他们自己领域以外的发展,并面临更大的挑战。

在历时 3 天的“工程前沿研讨会”上,我们邀请了 100 名年龄在 30~45 岁的美国最优秀的工程师与他们的同伴一起来学习工程中最前沿的发展。这种对许多工程领域最新发展的广泛的纵览能扩大学科交叉应用的视野。因为参加研讨会的工程师来自不同的学术机构、大学、产业与政府,他们可以有接触各种不同

工程专业的工程师,并向在自己学术圈里一般不可能遇到的专家学习。我们希望这种网络式的交流能促进他们的密切合作,从而推进新技术和新方法从一个领域向另一个领域转移。

每届会议的与会者人数被限定在 100 人,这是为了让这些经过竞争提名与选择产生出来的与会者有更多的接触与交流的机会。每届会议的议题与发言人的选择是通过一个组织委员会来做出的,而该委员会成员也是由相同年龄段的工程师们组成的。每年的研讨会都有不同的议题,邀请不同的人员参会,但也有个别例外。

在工程前沿研讨会上,发言者必须面对的唯一挑战是把他们的最令人激动的成就讲解给那些在科学技术上有相当的基础,但又来自不同专业的听众听并让他们接受。为了达到会议的目标,要求发言者提供一份关于他们的工作领域的简要评论,包括对这个领域前沿的定义,已完成或正在进行的实验、样机以及设计研究的简要描述,新的工具、方法的描述,对进展的局限性和争论的认识,最令人激动的成果和对过去几年内发生的最大挑战的简要描述,以及这项工作的理论、商业、社会及长远意义。

2003 年的研讨会

本年的报告包括如下 4 个很宽广的领域:环境工程,纳米技术的基本限制,反恐技术和基础设施保护以及生物分子计算。在环境工程专题的讲演举例说明在工程和自然科学、资源经济学、系统分析及风险管理之间的交接面。具体地,报告深入研究了如何认识微生物矿物呼吸能够告知被污染环境的挽救,水资源工程与经济、公共政策之间的接口,以及利用生命周期分析来解决可持续发展的课题。而纳米技术在前面几届前沿会议已经被列入讨论专题,本届会议的讲演主要集中在纳米技术的基本限制并试图回答这个问题:到达它的底部还有多远?在应用于硅微电子学,报告人的发言以从上到下的方式

来展开,对于分子电子学从底向上方式的限制,磁性材料存储的限制和由于在非常小的尺度下热系统行为的纳米技术提出的限制。在反恐技术和基础设施保护的专题中,几个报告提出了化学与生物威胁以及对基础设施,诸如对控制与操作都依靠计算机系统的电力配送、通信、交通系统的威胁。在这里,报告涉及了生物催化的消毒/解除武装,使用处理生物恐怖主义的工程解决方法以及软件与网络安全方面的课题。研讨会用生物分子计算,也被称作 DNA 计算、生物计算或分子计算作为最后的专题。这个领域的基本目标是调研分子(比如 DNA)对于平行的巨量计算的潜力。这里,报告包括了在这个领域某些最有前途的分支:基于 DNA 自组装的计算、通过 DNA 重排(shuffling)DNA 序列的分子繁殖以及可编程的生物细胞。

按惯例,本次研讨会邀请了一位杰出的工程师在第一个晚上的正餐会上对全体参会者讲演。今年的正餐讲演者是 William F. Ballhaus, Jr., 美国航空航天集团公司的董事长兼 CEO, 他的讲演题目是“在工学院里你没有学到的最重要的教训”。他的讲演全文也已收入本书中。

美国国家工程院对给予第九届工程前沿会议支持的如下机构表示深深的谢意,它们是:美国空军科学研究办公室,国防高级研究计划署,美国国防部的 DDR&E 研究中心, NASA, 柯达公司, 微软公司, ATOFINA 化学制品公司, Cummins 公司, 科学应用国际公司, 航空产品与化学制品公司, Millipore 公司, 通用电器基金会以及 J. A. Armstrong 博士和其他个人捐赠者。美国国家工程院对以 Pablo Debenedetti 教授为主席的组织委员会的全体成员(见卷首)为策划和组织这次会议所做出的贡献表示深深的谢意。

环境工程